

42. ESSENER TAGUNG

18. bis 20. März 2009

in Aachen

„Bewertung der Spurenstoffsituation in der Ruhr aus der Sicht
der Abwasserbeseitigung“

Harro Bode

Thomas Grünebaum

Ralf Klopp

Ruhrverband, Essen

Bewertung der Spurenstoffsituation in der Ruhr aus der Sicht der Abwasserbeseitigung

Harro Bode, Thomas Grünebaum, Ralf Klopp; Essen

1 Einleitung

Unter Spurenstoffen werden üblicherweise Inhaltsstoffe von Abwasser, Trinkwasser und Gewässern im Konzentrationsbereich kleiner 1 mg/l verstanden. Besonderes Augenmerk gilt denjenigen Spurenstoffen, die eine potenziell negative Wirkung auf die Menschen oder die (belebte) Umwelt ausüben. Diese negative Wirkung muss dabei nicht zwangsläufig toxikologisch bzw. hygienisch begründet sein. Es kann sich auch um mögliche negative Folgen aufgrund des ästhetischen Empfindens der Verbraucher handeln. Oder diese Stoffe sind bei der Trinkwasseraufbereitung kritisch, weil sie oder Folgeprodukte nicht oder nur unzureichend entfernbar sind. Oder sie sollten aus alleinigen Vorsorgegründen minimiert werden.

Die Abwasserbeseitigung steht bei der Spurenstoffdiskussion häufig im Fokus entsprechender Forderungen, Zielvorgaben und Maßnahmen. Die Diskussion wird dabei nicht nur im fachlichen Rahmen geführt, sondern sie ist gerade in jüngster Zeit Gegenstand erheblicher Auseinandersetzungen in Politik, Medien und der Öffentlichkeit. Dabei wird die Abwasserbeseitigung als wesentlicher Baustein der öffentlichen Daseinsvorsorge, der Hygiene und des Gesundheitsschutzes oftmals in ihrer Ausrichtung auf den Menschen und die Umwelt verkannt und heutzutage rein als (Gefahren-)Quelle für kritische Stoffe angesehen. Beispielsweise ist der Beitrag der Hygiene (insbesondere beim Wassergebrauch im siedlungswasserwirtschaftlichen Kreislauf – also auch der Abwasserbeseitigung) zur Steigerung der Lebenserwartung in den letzten 100 Jahren um ein Vielfaches höher als der des medizinischen Fortschritts. Auch ist in der Diskussion zu berücksichtigen, dass durch die erheblichen Anstrengungen bei der Abwasser- und Niederschlagswasserbehandlung in den letzten etwa 20 Jahren ein technisches Niveau erreicht wurde, dass hinsichtlich des Aufwand/Nutzen-Verhältnisses für mögliche zusätzliche Maßnahmen mittlerweile grenzwertig ist. Nicht zu unterschätzen bei weitergehenden Maßnahmen zur Abwasserreinigung sind der erhebliche Mehraufwand an Energie und Einsatzstoffen und der Anfall weiterer Abfälle sowie die mögliche Bildung von Transformationsprodukten bei der oxidativen Behandlung. Hier gilt es, auch bei der fallbezogenen Notwendigkeit zur Minimierung von Spurenstoffen, über Bilanzen und Stoffflussmodelle die Quellen und die verschiedenen Eintragspfade quantitativ zu erfassen, um hierüber verschiedenste Maßnahmenbereiche vergleichen zu können.

Ziel dieses Beitrages ist nicht eine human- oder ökotoxikologische Bewertung verschiedener Spurenstoffe. Auch ist nicht zu erwarten, dass eine generelle Problemlösung als technisches Konzept entwickelt wird. Hierfür sind zu viele natur-

wissenschaftliche, medizinische, ökotoxikologische, ingenieurtechnische, ökonomische und soziale Fragestellungen berührt. Vielmehr geht es darum, die Spurenstoffdiskussion primär aus Sicht der Abwasserbeseitigung zu beleuchten.

2 Das (Wieder-)Aufkommen des Spurenstoffthemas

Die Diskussion um Spurenstoffe ist kein neues Thema der Abwasserbeseitigung und des Gewässerschutzes. Sie steht in einer langen Tradition um sogenannte gefährliche und schwer abbaubare Stoffe aus der Gruppe der Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel, Industrie- und Haushaltschemikalien etc. In jüngerer Zeit stehen insbesondere Arzneimittel im Blickpunkt (Therapeutika wie Schmerzmittel, Antirheumatika, Antiepileptika, Lipidsenker, Betablocker, Zytostatika, Kontrazeptiva etc.; Diagnostika, insbesondere In-vivo-Diagnostika wie Röntgenkontrastmittel). Insgesamt sind für den Wasserkreislauf neben den Human- und Veterinärpharmaka Industriechemikalien, Körperpflegemittel, Waschmittelinhaltsstoffe, Nahrungsmittelzusatzstoffe, Additive in der Abwasser- und Klärschlammbehandlung, Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel sowie Futterzusatzstoffe zu betrachten [DWA, 2008b].

Die Aufzählung macht bereits deutlich, dass nicht sämtliche Spurenstoffe über das häusliche bzw. kommunale Abwasser zu erfassen sind. Einträge aus diffusen Quellen (land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen, Straßen und Wege, Altlasten, Entlastungen aus der Kanalisation etc.), aus Unfällen (Straßenverkehr, Schifffahrt, Industrieflächen etc.) führen neben den Kläranlagen als Punktquellen ebenfalls zu einer potenziellen Gewässerbelastung – teilweise auch mit den gleichen Stoffgruppen wie im kommunalen Abwasser. Zum Schutz der Gewässer und der jeweiligen Nutzungen bedarf es demnach einer weitergehenden Stoffbilanzierung zur transparenten Darstellung und Quantifizierung der Stoffeinträge.

Im Einzugsgebiet der Ruhr sorgten ab dem Jahr 2006 die Perfluorierten organischen Tenside (PFT) für eine heftige Diskussion. Die nach Bekanntwerden der erhöhten Konzentrationen durchgeführten Maßnahmen (Ausgabe von Mineralwasser an Säuglinge und Schwangere, Fischverzehrsempfehlungen, Humanbiomonitoring bei Trinkwasserkonsumenten und Anglern, Sofortmaßnahmen in Wasserwerken und bei der Talsperrensteuerung etc.) führten zu weitreichender Verunsicherung der Bevölkerung [Kroll, 2008]. Dabei ist herauszustellen, dass die Ursache der PFT-Problematik der Möhne und Ruhr im Jahr 2006 (und möglicherweise zuvor) in erster Linie nicht bei der Abwasserentsorgung lag, sondern ihren Ursprung bei kriminellen Machenschaften in der Abfallentsorgung über sogenannte Bodenverbesserer in der landwirtschaftlichen Produktion hat. Die PFT-Fracht in der Ruhr (als Summe aus PFOA und PFOS) entstammte im Jahr 2007 zu knapp zwei Dritteln aus Eintrag von Flächen (vorwiegend aus landwirtschaftlichen Flächen, auf denen der sogenannte Bodenhilfsstoff aufgebracht wurde) und nur zu etwa einem Viertel den Abwässern aus vorwiegend indirekt einleitenden Industrie- und Gewerbebetrieben. Die Emissionen nur aus diesem Bereich – insbesondere aus der metallverarbeitenden

Industrie – führen im Ruhreinzugsgebiet nicht zu einer Überschreitung der für Trinkwasser geltenden Vorsorgewerte als Konzentrationen im Gewässer [Bode et al., 2007], sondern erzeugen Hintergrundwerte, wie sie auch z. B. im Rhein anzutreffen sind.

Im Zuge der Auseinandersetzung um PFT kam im Ruhreinzugsgebiet die Diskussion um weitere Spurenstoffe im Trinkwasser auf. Dies führte zu einem gemeinsamen Vorgehen der Wasserwerke an der Ruhr mit dem Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, das in einer eigenen Vereinbarung festgelegt wurde („Arnsberger Vereinbarung“) [AWWR, 2006]. Im Zentrum standen dabei Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (insbesondere 1.1.1-Trichlorethan), Flammenschutzmittel (insbesondere Phosphorsäure-tris-(Chlorpropyl)-ester), Arzneimittel (insbesondere Carbamazepin und Diclofenac), Röntgenkontrastmittel (insbesondere Amidotrizoesäure und Iopamidol), Perfluorierte Tenside (insbesondere PFOA und PFOS) und Komplexbildner (insbesondere EDTA und DTPA). Im Zuge einer gemeinsam vorgenommenen Belastungsabschätzung des Trinkwassers aus der Ruhr durch verschiedene Behörden, Wasserwerke, Ruhrverband und sonstige Institutionen entstand Ende 2006 eine vorsorgliche Datensammlung mit Bewertung von rund 300 vorwiegend organischen Spurenstoffen in Oberflächengewässern, Rohwasser und Trinkwasser, die fast alle in der Ruhr keine relevanten Konzentrationen aufwiesen. Letztlich verblieb eine Liste von 19 Stoffen mit Hinweisen auf ein Vorkommen im Trinkwasser. Bei 5 Stoffen dieser Liste lagen die Konzentrationen im Trinkwasser gelegentlich über 0,1 µg/l.

Die alleinige Detektion von Stoffen im Trinkwasser ist zunächst unkritisch, da das Vorkommen immer gespiegelt werden muss an einer Bewertung nach humantoxikologischen Kriterien. Trotzdem werden Befunde oberhalb der (rein analytisch verursachten) Bestimmungsgrenze, die sich im Laufe der Jahre fortschrittsbedingt immer weiter nach unten bewegt, oftmals fälschlicherweise bereits als Alarmsignal interpretiert. Konzentrationen sind für die Bewertung eine zentrale Größe. Letztlich kommt es aber (vor allem bei nicht akut toxischen, sondern z. B. mutagen oder kanzerogen wirkenden Stoffen) auch auf die insgesamt aufgenommene Dosis an, wobei andere Pfade, wie z. B. die Nahrungsmittelaufnahme, gleichfalls berücksichtigt werden müssen.

Für die in der Ruhr relevanten Stoffe hat die Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit beim Umweltbundesamt auf entsprechende Anfrage Konzentrationswerte für Trinkwasser vorgegeben, die allerdings sowohl hinsichtlich der Interpretation als auch der Operationalisierung nicht unproblematisch sind (Tabelle 1).

Tabelle 1: Normative Werte für ausgewählte Spurenstoffe nach Angaben der Trinkwasserkommission [UBA, 2008]

Stoff	Leitwert (LW) Toxikologisch abgeleitet und lebenslang gesundheitlich duldbar (µg/l)	Gesundheitlicher Orientie- rungswert (GOW) Gesundheitlich orientierte Vorsorge (µg/l)	Zielwert Trinkwasser-hygiene- sche Vorsorge (µg/l)
1,1,1-Trichlor-ethan	[2.000]	3,0	≤ 0,1 → < 3,0
Phosphor-säure-tris-(2- chlorpropyl)-ester (TCPP)	22 (gerundet 20)	1,0	≤ 0,1 → < 1,0
Carbamazepin	--	0,3	≤ 0,1 → < 0,3
Diclofenac	1,75 (gerundet 2,0)	0,3	≤ 0,1 → < 0,3
Röntgenkontrastmittel	--	1,0	≤ 0,1 → < 1,0
Komplexbildner EDTA und DTPA	600 (EDTA)	10	≤ 0,1 → < 10
2,4,8,10-Tetra-oxaspiro[5.5]- undecan ("TOSU")	--	0,3	

So ist es auf der Grundlage des Wertes für „TOSU“ zu unmittelbar zu vollziehenden Vorgaben durch die Wasserbehörden bei einem Industriebetrieb gekommen, die eine vollständige Betriebsstilllegung zur Folge hatten. Diese wurden zwar durch gerichtliche Entscheidung kurzfristig wieder aufgehoben und im Weiteren konnte eine Versuchsanlage zur gezielten Abwasserbehandlung zeitnah in Betrieb genommen werden. Trotzdem ist dieser Vorgang sowohl für den wasserwirtschaftlichen Vollzug als auch für das unternehmerische Handeln als kritisch anzusehen, zumal zuvor die tatsächlichen Konzentrationen nicht nur bekannt waren, sondern auch in verschiedenen Genehmigungsverfahren des Unternehmens über viele Jahre nicht beanstandet wurden.

Die vom UBA erstellte Liste normativer Konzentrationswerte (Tabelle 1) ist wenig geeignet, um mit den Medien oder der Öffentlichkeit tatsächliche Belastungen, Risiken und notwendige Maßnahmen zu diskutieren. Die Anzahl der Werte ist verwirrend und vielfach wird sich ohnehin immer auf den kleinsten genannten Wert bezogen. Dieser beträgt in allen Fällen 0,1 µg/l.

Weiterhin erscheint es als kritisch, dass die vorgegebenen Werte hinsichtlich ihrer Herleitung wenig transparent sind. So ergeben sich zwischen den toxikologisch hergeleiteten „Leitwerten“ LW und den anzustrebenden „Zielwerten“ ZW je nach betrachtetem Stoff sehr unterschiedliche Faktoren von 17 bis 20.000.

3 Verhalten von Spurenstoffen bei der Abwasserbehandlung

Einzelne Spurenstoffe im Abwasser liegen in einem komplexen Stoffsystem vor und werden wie sämtliche Abwasserinhaltsstoffe aufgrund ihrer stoffspezifischen

Eigenschaften, der vorliegenden Konzentrationen und den Bedingungen bei der Behandlung (Temperatur, pH-Wert, Milieubedingungen (anaerob, anoxisch, aerob), vorhandene Biomasse für den biologischen Abbau („Spezialisten“), Konzentration übriger Stoffe als Hintergrundmatrix) aus dem Abwasser eliminiert bzw. in andere Stoffe umgesetzt. Bevorzugter Schritt ist der biologische Abbau in der Belebungsstufe bzw. bei den übrigen biologischen Verfahren. Nicht zu unterschätzen ist für viele gelöste Stoffe die Adsorption an suspendierte Stoffe, die zu einer Entfernung mit dem Primärschlamm in der mechanischen Stufe oder auch mit dem belebten Schlamm in der Nachklärung bzw. den Stufen zur weitergehenden Suspensaentfernung führt. Bei der konventionellen Verfahrenstechnik der kommunalen Abwasserbehandlung sind folgende Stoffeigenschaften für eine Elimination in der Kläranlage günstig:

- (hohe) biologische Abbaubarkeit
- gute Adsorption an Suspensa
- geringe Polarität
- hydrophobe Eigenschaften.

Generell wirken sich folgende verfahrenstechnische Bedingungen positiv auf die Elimination von Spurenstoffen aus:

- hohes Schlammalter in der biologischen Stufe mit „spezialisierte“ Belebtschlammbiozönose für den biologischen Abbau
- Konzentrationsgradient in der biologischen Stufe durch Kaskadierung und geringe Kreislauf- und Rücklaufschlammführung zur Unterstützung des biologischen Abbaus
- Weitgehende Suspensaentfernung zur Entfernung adsorptiv gebundener Stoffe.

4 Ansätze zur Minimierung der Spurenstoffe im Wasserkreislauf

Spurenstoffe werden über diffuse Quellen (z. B. über die Landwirtschaft) und über Abwässer aus Industrie und Gewerbe, Krankenhäusern, Arztpraxen und Haushalten in Gewässer eingetragen. Die meisten Spurenstoffe sind ständig in der Umwelt nachweisbar. Manche Stoffe sind ubiquitär verbreitet und kommen auch weit entfernt von den Einsatzorten bzw. Emissionsquellen, wie etwa in den Polargebieten, vor. Lediglich ein Stoffverbot würde langfristig dazu führen, dass solche Stoffe aus der Umwelt verschwinden. Nicht zuletzt auch aufgrund verbesserter Analysemethoden ist aber auf längere Sicht noch damit zu rechnen, dass sie weiterhin in der Umwelt nachweisbar sein werden.

4.1 Maßnahmen an der Quelle

Das Ende der Produktion und der Verzicht auf bestimmte Stoffe ist der effektivste Weg zur Stoffminimierung. Dies dürfte – wie bereits in der Vergangenheit – allerdings nur in Einzelfällen durchsetzbar sein, da die positive Wirkung beim gezielten Stoffeinsatz dem entgegensteht oder Ersatzstoffe mit gleichem Wirkungsspektrum nicht verfügbar sind. Bei der Entwicklung bzw. Produktion und beim gezielten Einsatz von schädlichen Stoffen sind jedoch auch im Hinblick auf die Wirkung im Wasserkreislauf Anwendungsbeschränkungen anzustreben. Dies gilt im übrigen auch in gleicher Weise für die anderen Kompartimente Boden und Luft. Verluste bei Produktion und Anwendung, die ungezielt entsorgt werden, sind zu minimieren. Alternative Stoffe mit weniger negativen Wirkungen auf die Umwelt sind unter Berücksichtigung des eigentlichen Wirkungsspektrums verstärkt anzuwenden. Hierfür erscheint nicht zwingend ein weitergehendes System der Regulierung und Kontrolle erforderlich. Vielmehr sind die Produzenten und Anwender (Industrie- und Gewerbebetriebe, Ärzte, private Verbraucher und insbesondere deren Lieferanten) entsprechend zu sensibilisieren. Produktkennzeichnungen zum Umweltverhalten der Stoffe und zur gezielten Entsorgung nach Gebrauch sind weiterzuentwickeln. Insgesamt sind Maßnahmen an der Quelle durch eine entsprechende Chemikalienpolitik auf Ebene der EU und den nationalen Ebenen gezielt zu steuern. Eine wesentliche Problemschärfung für den Wasserkreislauf ist jedoch wegen der vielfältigen positiven Aspekte des Einsatzes solcher Stoffe nicht zu erwarten.

Generell ist davon auszugehen, dass ein Rückhalt der Spurenstoffe am Ort des Anfalls kostengünstiger und effektiver ist als nach Vermischung mit dem übrigen Abwasser. Hier sind gezielt auf den spezifischen Stoff ausgerichtete Verfahrenstechniken anwendbar, die für einen großen Volumenstrom nach Vermischung nicht einsetzbar wären. Beispiele hierfür sind die Behandlung von Krankenhausabwässern vor der Einleitung in die Kanalisation [Beier et al., 2008] oder die separate Behandlung zur Elimination aus Chromsäurebädern und -spülabwässern [Nisipeanu et al.; 2008].

4.2 Weitergehende Maßnahmen auf Kläranlagen

Kläranlagen gelten als Haupteintragspfad für Humanarzneimittel und zahlreiche Industriechemikalien. Eigene Untersuchungen unterstützen die verbreitete Erkenntnis, dass bei vielen im Haushalt eingesetzten Stoffen eine einwohnerspezifische Fracht dieser Stoffe ableitbar ist (Abbildung 1). Die verhältnismäßig konstante Fracht aus dem häuslichen Abwasser in die Gewässer wird auch durch die Abhängigkeit der Konzentrationen im Gewässer vom Abfluss untermauert (Abbildung 2).

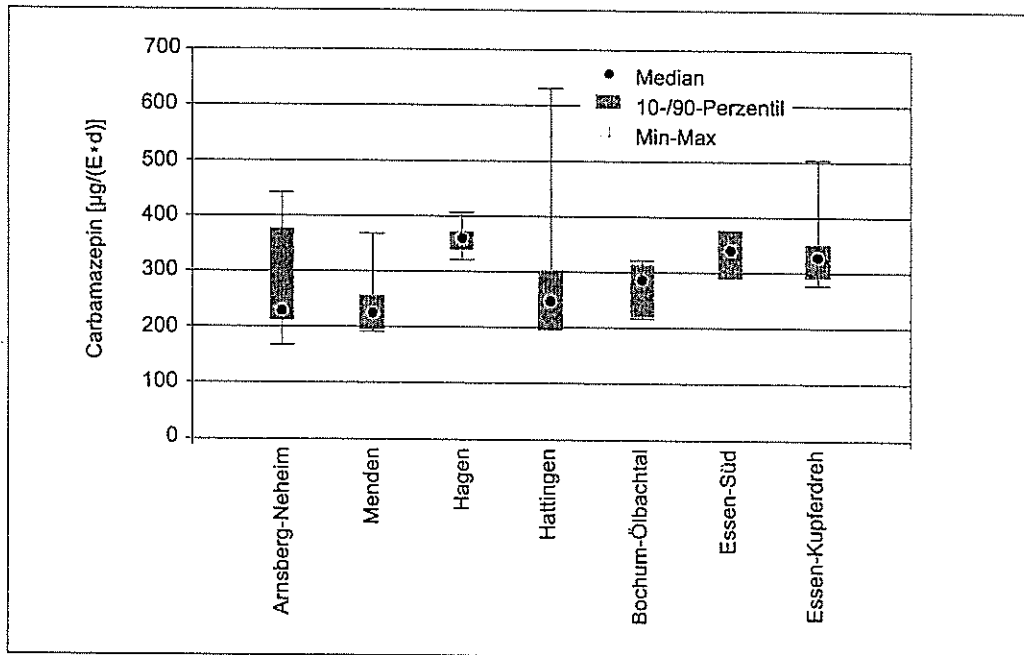


Abb. 1: Einwohnerspezifische Frachten von Arzneimitteln in verschiedenen Kläranlagenabläufen am Beispiel des Carbamazepins aus Untersuchungen des Ruhrverbands

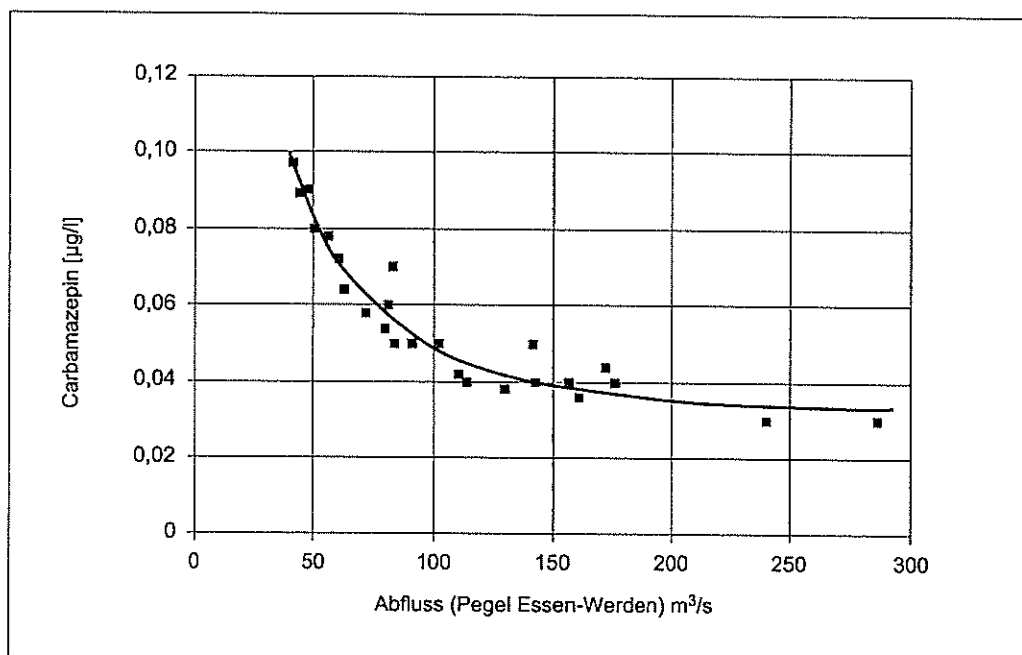


Abb. 2: Abhängigkeit der Konzentrationen vom Abfluss am Beispiel des Carbamazepins in der unteren Ruhr aus Untersuchungen des Ruhrverbands (2007)

Die verfahrenstechnischen Hinweise zur Erhöhung der Spurenstoffelimination in Kläranlagen sind lediglich als generelle verfahrenstechnische Modifikationen zu verstehen und für eine gezielte Minimierung nicht geeignet. Vielmehr sind bei

weitergehenden Anforderungen Prozesserweiterungen erforderlich, die aus folgenden Verfahren bestehen:

- Oxidation mit Ozon in einem der biologischen Kläranlage nachgeschalteten Verfahrensschritt:

Grundsätzlich sind auch andere Oxidationsmittel wie Wasserstoffperoxid oder die Kombination mit der UV-Bestrahlung einsetzbar. Sie sind allerdings in der Praxis kommunaler Kläranlagen noch nicht anwendungsreif. Von Vorteil ist, dass mit den Oxidationsverfahren auch eine Entkeimung erreicht werden kann. Nachteilig ist, dass mit der Oxidation Transformationsprodukte entstehen, die vielfach unbekannt sind und deren Bedeutung für die Gewässer und die Gewässernutzungen (insbesondere die Trinkwassergewinnung) derzeit nur unzureichend bewertbar ist.

- Adsorption an Aktivkohle:

Der Einsatz von Aktivkohle kann als nachgeschaltete Kornfiltration (nach weitgehender Suspensaentnahme) oder als Pulverkohlezugabe mit nachfolgender Flüssig/Fest-Trennung erfolgen. In beiden Fällen ist es angezeigt, vorab bereits eine möglichst weitgehende Entfernung organischer Inhaltsstoffe sicherzustellen, um eine frühe Belegung der Aktivkohle (konkurrierende Adsorption) zu vermeiden. Das Verfahren bietet sich also ebenfalls als nachgeschaltete Stufe nach der mechanisch-biologischen Behandlung an [Cornel, 2006].

Eine alleinige UV-Bestrahlung oder Membranfiltration (außer Umkehrosmose) bewirken als nachgeschaltete Stufe keine signifikante Elimination der Spurenstoffe. Beim Membranverfahren wirken sich allerdings die weitestgehende Suspensaentnahme hinsichtlich der adsorptiv gebundenen Stoffe und beim Membranbelebungsverfahren das üblicherweise hohe Schlammalter hinsichtlich der biologisch abbaubaren Stoffe positiv aus.

Der Ruhrverband plant den Einsatz einer Oxidation mit Ozon und Adsorption mit Pulveraktivkohle als großtechnische Versuchsanlage im Parallelbetrieb mit der konventionellen Verfahrenstechnik auf der Kläranlage Schwerte. Hierzu wird in einer der beiden Straßen eine Ozonung und eine Pulverkohlezugabe eingerichtet. Die Dosierung erfolgt in einen eigenen Rezirkulationsstrom vom Ablauf in den Zulauf der Nachklärung oder in das Belebungsbecken. Eine separate Abtrennung der Pulveraktivkohle wird dadurch entbehrlich. Die Rezirkulation erfolgt antizyklisch zum Zufluss der Kläranlage in der Weise, dass das Nachklärbecken hydraulisch annähernd konstant mit dem Mischwasserzufluss (zuzüglich Rücklaufschlamm) belastet wird. Dadurch wird eine Rezirkulation und weitergehende Spurenstoffelimination lediglich in Zeiten durchgeführt, in denen der Zufluss zur Anlage geringer ist als bei Mischwasserzufluss, da ansonsten von einer Verdünnung des Abwassers auszugehen ist, die eine Behandlung aufgrund des Konzentrationsniveaus entbehrlich und uneffektiv machen würde. Inwieweit sich bei dieser Verfahrenstechnik Konzentrationsschwankungen – insbesondere bei einsetzendem Mischwasserzufluss – ergeben, wie dem betrieblich entgegenzuwirken und welche gewässergütewirtschaftliche Bedeutung dem zuzumessen wäre, soll in gezielten Untersuchungen geklärt werden.

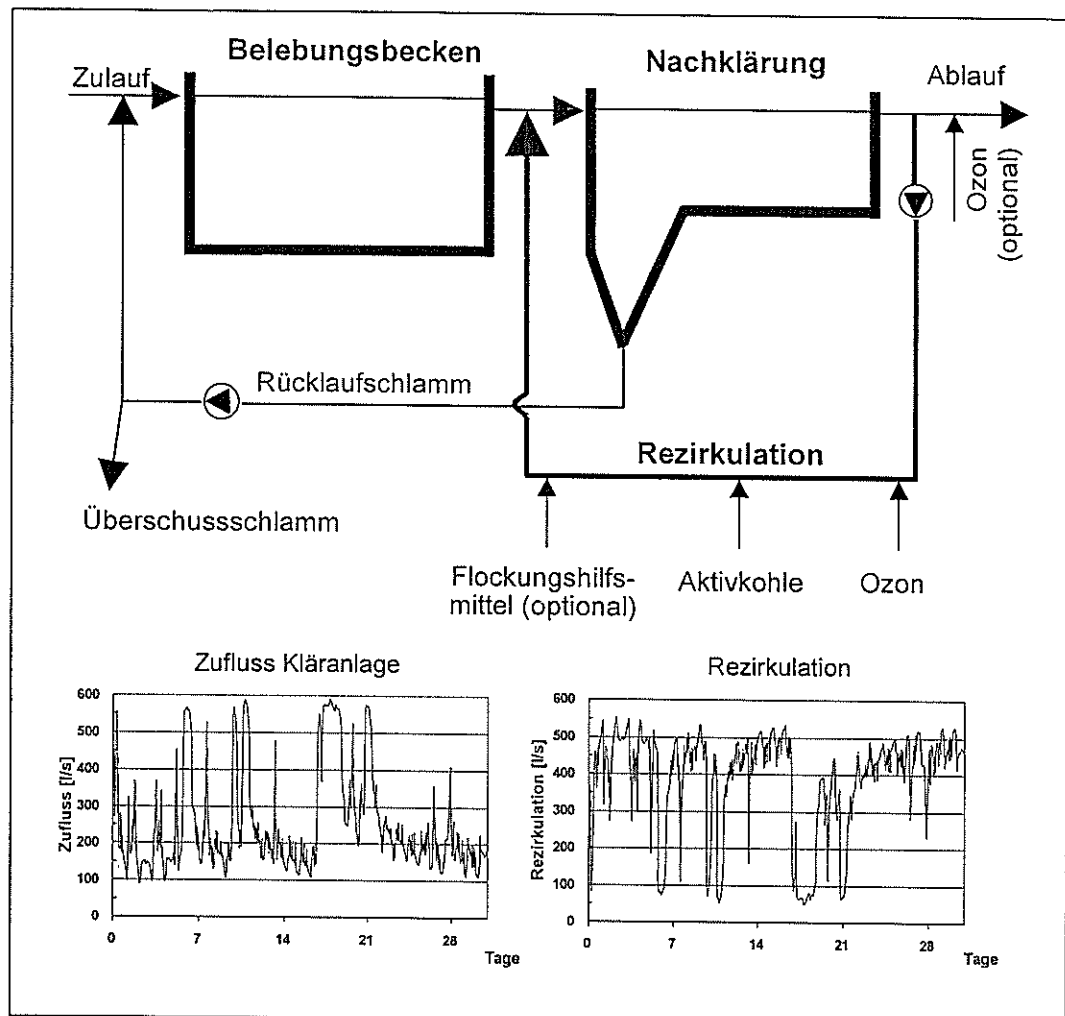


Abb. 3: Verfahrenskonzept zur Ozonung und/oder Pulverkohledosierung in den Rezirkulationsstrom der Nachklärung auf der Kläranlage Schwerte

4.3 Maßnahmen bei der Trinkwasseraufbereitung

Auf der kommunalen Kläranlage können weder Spurenstoffe aus diffusen Quellen noch solche aus Kommunalabwasser, die bei Abschlügen aus den Kanalisationsnetzen ins Gewässer gelangen, entfernt werden. Daher ist die Trinkwasseraufbereitung der bevorzugte und zwingend erforderliche Ort zur gezielten Elimination von Spurenstoffen, soweit sie im Rohwasser vorhanden sind und eine Eliminationsnotwendigkeit vorliegt. Dadurch wird die Trinkwasseraufbereitung einerseits zum „Reparaturbetrieb“ für mögliche Missstände im Gewässerschutz – eine Rolle, gegen die sich die Trinkwasserwirtschaft aus nachvollziehbaren Gründen und auch unter Hinweis auf den Umweltschutz und seine ökologischen Aspekte verwahrt. Andererseits stellt die Aufbereitung im Wasserwerk aber im Hinblick auf den Trinkwasserschutz den Ort dar, der die größtmögliche Sicherheit gegen Belastungen des Trinkwassers bietet. Dies ist dadurch begründet, dass eine Minimierung des Stoffeintrags

in die Gewässer aus allen Eintragspfaden und -quellen in der Regel nicht mit vertretbarem Aufwand geleistet werden kann. Hinzu kommt, dass es bei diffusen Quellen oder unfallbedingten Einträgen oft keine zuverlässigen Gegenmaßnahmen gibt. Möglicherweise ist die Trinkwasseraufbereitung nicht nur der sicherste Ort der Spurenstoffentfernung, sondern auch der wirtschaftlichste, weil eine Entfernung von unerwünschten Stoffen, die in den vorhandenen Konzentrationen keine ökotoxikologische Bedeutung haben (z. B. Stoffe, die vorwiegend wegen des ästhetischen Empfindens der Konsumenten entfernt werden sollen), vorzugsweise an dieser Stelle erfolgen sollte.

5 Bewertung von Spurenstoffen anhand von normativen Werten und Risikobetrachtungen

Die Konzentrationen gelten bislang als die zentrale Größe für die Bewertung von Spurenstoffen. Allerdings wird ein reiner Zahlenvergleich dem komplexen Wirkungsgefüge auf Menschen und Umwelt in keiner Weise gerecht. Vielmehr sind neben Fragen der Exposition (d. h. neben der Konzentration auch der Häufigkeit und Dauer des Auftretens) auch weitere vergleichbare Expositionspfade von Bedeutung. Hierzu gehören Nahrungsmittel, Luft, Kleidung, Körperpflegemittel und sonstige Lebensgewohnheiten wie Rauchen, Ernährung etc. Nicht zuletzt ist zu beachten, dass die erstmalige Detektion mittels verfeinerter Analysemethoden vielfach lediglich suggeriert, dass es sich um eine neue Belastung handelt. Die Erwartung vom absoluten Nichtvorhandensein einzelner Stoffe ist vor dem Hintergrund der fortschreitenden technischen Entwicklungen im Analysebereich, aber auch der weltweiten, unbeabsichtigten Verbreitung von Stoffen durch Wind, Wasser, Nahrungsketten und nicht zuletzt durch den Menschen nicht realistisch.

Im wasserwirtschaftlichen Vollzug sind die bisherigen normativen Werte wenig praktikabel. Übliche Werte als Maximalkonzentrationen, die für das Trinkwasser relevant sind, eine direkte Übertragung auf das Gewässer aber in der Regel implizieren, sind:

- **Maßnahmewert (MW):**
Toxikologisch abgeleiteter Konzentrationswert für Erwachsene, ab dem das Trinkwasser für Lebensmittelzwecke nicht mehr verwendbar ist (z. B. 5,0 µg/l für PFT als Summe aus PFOA und PFOS)
- **Vorsorglicher Maßnahmewert (VMW):**
Toxikologisch abgeleiteter Konzentrationswert (für Säuglinge VMW_s) als Vorsorgewert (z. B. 0,5 µg/l für PFT als Summe aus PFOA und PFOS)
- **Leitwert (LW):**
Toxikologisch abgeleiteter Konzentrationswert, für lebenslangen gesundheitlich duldbaren Trinkwasserkonsum
- **Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW):**
Vorsorgewert der Konzentration für lebenslangen Konsum bei nicht bewertbaren oder bewerteten Stoffen (z. B. 0,3 µg/l für PFT als Summe aus PFOA und PFOS)

- Zielwert (ZW):
Trinkwasserhygienischer Vorsorgewert für lebenslangen Konsum bei nicht bewertbaren oder bewerteten Stoffen (z. B. 0,1 µg/l für PFT als Summe aus PFOA und PFOS)

Auf die Herleitung dieser Vorgaben, weitere normative Größen und Begleitfragen wie Vertrauensbereiche, Sicherheitsfaktoren, Wahrscheinlichkeiten, Extrapolation etc. soll hier nicht näher eingegangen werden. Auch werden an dieser Stelle die Fragen der Verfügbarkeit von Analyseverfahren und Daten, der Metabolite und Transformationsprodukte, der antagonistischen oder synergistischen Wirkung in Mischungen sowie des allgemeinen Minimierungsgebots als Hinweise auf vielfach offene oder unklare Punkte lediglich erwähnt [Dieter, 2006].

Eine Umsetzung solcher normativer Werte für die Stoffminimierung bei der Abwasserbeseitigung bedürfte entsprechender Überwachungswerte als Konzentrationsvorgaben für den Ablauf einer Kläranlage mit entsprechenden Regelungen für Probenahme (Art der Probe, Probenahmedauer und -häufigkeit etc.) und Probenbewertung (4-von-5-Regelung, Perzentilwerte oder andere statistische Bewertungsverfahren). Problematisch dürfte sein, dass eine solche Vorgabe zwar

- Rechtssicherheit und -klarheit bietet;
- als kostenträchtige Maßnahme auch gebühren- oder veranlagungswirksam umgelegt werden könnte;

andererseits aber

- weniger auf die auch relevante Größe der über längere Zeiträume aus dem Abwasser eliminierten Fracht abhebt;
- auf ein höheres Technikniveau für die kommunale Abwasserbehandlung abzielt, derzeit aber als strenge Vorgabe evtl. technisch nicht sicher eingehalten werden kann;
- hinsichtlich des anzustrebenden Konzentrationswertes aufgrund der bekannten Definitionen der verschiedenen normativen Werte (s. o.) weiterhin unsicher oder zumindest wenig transparent ist;
- einen zusätzlichen Kostensprung für die Gebührenzahler verursachen würde;
- und üblicherweise wenig flexibel hinsichtlich unterschiedlicher Kläranlagenstandorte, Abwasserbelastungen und zeitlich veränderten Bedingungen (z. B. im Jahresverlauf) hinsichtlich der Immissionssituation ist.

Allerdings ist festzustellen, dass die erforderliche Flexibilität, wie sie im letztgenannten Punkt genannt ist, bei den derzeit üblichen Überwachungsstrategien durchaus möglich und praktikabel ist. So werden an Kläranlagen immissionsseitig begründete Überwachungswerte oder jahreszeitliche (bzw. von der Abwassertemperatur abhängige) Werte für die Stickstoffkonzentrationen vorgegeben. Eine Vorgabe von Eliminationsleistungen für Kläranlagen anstelle von Überwachungswerten hat sich

bereits bei anderen Parametern aufgrund der großen Schwankungsbreiten im Zulauf kommunaler Kläranlagen als nicht praktikabel herausgestellt.

Allerdings birgt die Vorgabe von Ablaufanforderungen für einzelne Stoffe die Gefahr, dass aufgrund der Fortschritte in der Analytik dies eine Eigendynamik in sich birgt: „Neue Stoffe“ würden auftreten, so dass die Parameterliste ständig zu erweitern oder zu verändern wäre. Bei diesen Stoffen dürften möglicherweise die Mechanismen sowohl bei der Abwasserbehandlung als auch im Gewässer und bei der Trinkwasseraufbereitung noch nicht ausreichend bekannt sein und eine schnelle Bewertung sich somit als sehr schwierig darstellen. Forderungen nach einer „Nullemission“ sind in solchen Fällen allerdings auch nicht praktikabel und für die Abwasserbeseitigungspflichtigen in keiner Weise hilfreich. Auch sind Einzelstoff-bezogene Anforderungen wegen des Wissensdefizits nicht zielführend. Summen- oder Wirkparameter für die unterschiedlichen Spektren der Stoffe stehen allerdings nicht in praktikabler Form und in der erforderlichen Sensitivität zur Verfügung.

Für den Fall, dass tatsächlich Anforderungen an die weitergehende Spurenstoffelimination gestellt werden müssen, erscheint es sinnvoll, nicht nur die Produkt- sondern ergänzend oder alternativ auch die Prozessqualität der Abwasserbehandlung als mögliche Überwachungsstrategie in Betracht zu ziehen. Dies bedeutet, dass die oben als problematisch beschriebene Überwachung der Konzentration am Ablauf der Kläranlage lediglich für eine sporadische Kontrolle erfolgt und ersetzt werden könnte durch die Vorgabe von Prozessparametern für die Abwasserbehandlung. Dies wäre z. B. die Vorgabe von bestimmten verfahrenstechnischen Prozessstufen (z. B. Ozonung) mit Betriebsparametern (z. B. Dosiermenge), die als betriebliche Kenngrößen nachzuweisen wären. Allerdings sollte hierbei nicht eine pauschale Vorgabe erfolgen, sondern sie sollte abgestimmt sein auf die Erfordernisse für das Gewässer bzw. die nachfolgenden Nutzungen. So wäre es z. B. denkbar, dass eine weitergehende Spurenstoffelimination nur in Trockenwetterzeiten bei hohem Abwasseranteil im Gewässer und hohen Konzentrationen im Rohabwasser betrieben wird.

Die Diskussion um Spurenstoffe bedarf eines wesentlich erweiterten Kreises an teilnehmenden Bereichen. Eine alleinige Fokussierung auf das (Trink-)Wasser ist ebenso wenig zielführend wie die Beschränkung auf den technischen und naturwissenschaftlich-analytischen Bereich. Vielmehr sind auch Mediziner und nicht zuletzt Soziologen und Politiker einzubeziehen. Die notwendige Diskussion um Risiken des täglichen Lebens, ästhetisches Empfinden und eigenverantwortliches Handeln der Verbraucher im Zusammenhang mit Spurenstoffen im Gewässerkreislauf muss neben der technisch-naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise um die gesellschaftsrelevante Fragestellung erweitert werden.

6 Zusammenfassung, Fazit

Die Diskussion über Spurenstoffe im wasserwirtschaftlichen Kreislauf ist nicht neu, sondern erlebt mit verfeinerten Analyse- und Nachweismethoden, Veröffentlichungen

zu „neuen“ Funden und Diskussionen in den Medien, der Politik und Öffentlichkeit immer wieder neue Höhepunkte. Der generell wünschenswerte Fortschritt in der chemischen Analytik mit laufend geringer werdenden Bestimmungsgrenzen und neuen analytisch zugänglichen Stoffgruppen führt allerdings zu dem trügerischen Schluss, dass immer mehr (vermeintlich neue) Stoffe in Trinkwasser, Gewässern und Abwässern vorhanden sind. Festzustellen ist hingegen, dass die heute als „neue Spurenstoffe“ angesehenen Verbindungen bekanntermaßen aber überwiegend bereits seit vielen Jahrzehnten in wahrscheinlich ähnlichen Konzentrationen wie heute vorhanden sind, bislang aber nicht nachweisbar waren. Trotzdem gilt es für die verantwortlichen Akteure der Wasserwirtschaft, dieses Thema und insbesondere die Sorgen der Verbraucher und der Öffentlichkeit ernst zu nehmen und entsprechende Strategien zu entwickeln.

Der Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Spurenstoffe in Gewässern und dem Eintrag über kommunale Kläranlagen ist bekannt und vielfach nachweisbar. Allerdings sind auch andere Eintragspfade sowohl abwasserbürtiger als auch sonstiger Stoffe in die Gewässer zu konstatieren. Hierzu gehören u. a. Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel, Futterzusatzstoffe und Veterinärpharmaka.

Allein das Auftreten und der Nachweis der Spurenstoffe im Wasserkreislauf ist nicht problematisch. Vielmehr bedarf es einer stoffspezifischen Bewertung. Dabei ist klar, dass eine umfassende und verlässliche Bewertung aufgrund der Vielzahl von Stoffen (und ständig neuer Stoffe) nicht realistisch ist. Erschwerend kommt hinzu, dass die Bewertung über die zahlreichen normativen Größen, die Herleitung dieser Größen und die vielfache Forderung nach einer „Nullemission“ wenig transparent und nicht vermittelbar bzw. machbar sind. Der populären Forderung nach Ausschluss eines jeglichen Risikos gehorchend, werden zudem toxikologisch abgeleitete Konzentrationsgrößen durch generelle Zielwerte, die jegliches Vorkommen dieser Stoffe im Trinkwasser und Gewässer praktisch ausschließen sollen, ersetzt. Dies kann bei weiter fortschreitender Entwicklung der Analyseverfahren nur dazu führen, dass ständig neue Forderungen nach weiteren Aufbereitungszielen und -verfahren erhoben werden. Dabei soll nicht verkannt werden, dass neben der toxikologischen Bewertung für das Trinkwasser einerseits auch ein generelles Minimierungsgebot und auch eine sehr sensible ästhetische Empfinden der Verbraucher bestehen, die diese Tendenzen nachvollziehbar stützen. Dies macht aber deutlich, dass auch in der Wasserwirtschaft eine in anderen Lebensbereichen durchaus übliche Risikodiskussion geführt werden muss, ohne dass ein Vertrauensbruch oder -verlust zu den Akteuren damit ausgelöst wird.

Die Abwasserentsorgung mit dem derzeitigen Stand der Technik der kommunalen Kläranlagen hat ein stoffspezifisches Wirkungsspektrum aufgrund der verfahrenstechnischen Bedingungen und der jeweiligen Stoffeigenschaften der Abwasserinhaltsstoffe. Weitergehende Verfahren zur Spurenstoffelimination sind noch nicht praktisch erprobt und werden in nächster Zeit hinsichtlich technischer Möglichkeiten und Bedingungen sowie Umsetzbarkeit untersucht werden. Auch sind Aufwand/Nutzen dieser Techniken derzeit unzureichend quantifizierbar. Von daher

verbieten sich Forderungen nach flächendeckender Einführung solcher Verfahren. Vielmehr sind die möglichen Ansatzpunkte an den Quellen dieser Stoffe im Indirekt-einleiterbereich (oder bereits bei deren Produktion und Einsatz), bei der Abwasserreinigung und schließlich bei der Trinkwasseraufbereitung systematisch unter Einbeziehung einer jeweiligen Stoffbilanzierung zu untersuchen und hinsichtlich Effektivität und Aufwand vergleichend zu bewerten. Parallel ist aber eine Risikobewertung und -diskussion mit allen relevanten gesellschaftlichen Gruppen erforderlich. Hier sind auch andere Expositionspfade über Nahrung, Luft, Kleidung, Körperpflegemittel mit zu betrachten. Und es ist der Politik und Öffentlichkeit deutlich zu machen, dass wie in anderen Bereichen des täglichen Lebens (z. B. im Verkehr oder bei technischen Anlagen) der Aufwand bei höheren als den gängigen Anforderungen an das Sicherheitsbedürfnis exponentiell ansteigt. Vor diesem Hintergrund ist sehr genau zu analysieren, ob und in welchem Maße mit entsprechend kostenträchtigen, zusätzlichen Maßnahmen zur Spurenstoffelimination tatsächliche Risiken auch signifikant minimiert werden. Fehlinvestitionen wegen mangelnder Kenntnisse über Risiken und die Möglichkeiten zu deren Verminderung sind möglichst auszuschließen. Hierzu bedarf es gezielter Untersuchungen, auch zu Verfahren und Betrieb der Abwasserbeseitigung. Entsprechende Ansätze sollten konsequent weiterverfolgt und -entwickelt werden.

Hinsichtlich möglicher rechtlich-administrativen Bedingungen einer weitergehenden Spurenstoffelimination aus dem Abwasser erscheint eine schlichte Vorgabe von Reinigungsanforderungen an Kläranlagen allerdings nicht operationalisierbar. Vielmehr bedürfte es handhabbarer Überwachungsstrategien, die u. a. auch die Erfordernis einer Elimination unter allen betrieblichen, hydrologischen, nutzungsrelevanten und sonstigen Bedingungen differenziert berücksichtigen würde. Hier wäre es denkbar, anstelle einer üblichen Vorgabe von Überwachungswerten oder Eliminationsgraden bestimmte Verfahrenstechniken oder entsprechende Kenngrößen dieser Verfahren als Anforderung vorzugeben.

Die Diskussion ist derzeit aufgrund vieler offener Fragen aus dem ingenieur- und naturwissenschaftlichen, medizinischen, politisch-gesellschaftlichen, juristischen und organisatorischen Bereich bei weitem nicht abgeschlossen. Sie muss dringend weiter geführt werden.

7 Literatur- und Quellenangabe

AWWR Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr (2006):

„Arnsberger Vereinbarung“ Gemeinsame Verantwortung und kooperatives Handeln für hohe Wasserqualität und Gesundheit. Vereinbarung zwischen der Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr und dem Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vom 25. August 2006

Beier, S.; Pinnekamp, J.; Schröder, H.F.; Gebhardt, W.; Cramer, C.; Bieling, U.; Mauer, C.; Courth, F.; Weber, M.; Mielcke, M.; Selke, D. (2008):

Untersuchungen zur separaten Erfassung und Behandlung von Krankenhausabwasser mit Membrantechnik und weitergehenden Verfahren. Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 211, Seite

- 29/1 bis 29/17, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen ISBN 978-3-938996-17-1, ISSN 0342-6068
- Bode, H. (2008):
... den Stoffen auf der Spur. Editorial. gwf Wasser Abwasser 149 (2008), Nr. 9, Seite 625
- Bode, H.; Klein, P.; Klopp, R. (2007):
Behandlung der PFT-Problematik am Möhnesee, Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 207, Seite 34/1 bis 34/12, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen ISBN 978-3-938996-13-3, ISSN 0342-6068
- Cornel, P. (2006):
Weitergehende Behandlung von Kläranlagenabläufen (A-Kohle, Oxidations-, Desinfektionsverfahren). Wasserwirtschafts-Kurs M/2 der DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- Dieter, H. H. (2006):
Wissenschaftliche Erkenntnisse und offene Fragen aus Sicht der Humantoxikologie. Berichte aus dem IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH, Mülheim an der Ruhr, Band 45, Seite 127 bis 142, ISSN 0941-0961
- DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2008a):
Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf – Arzneistoffe. DWA-Themen, Mai 2008, DWA Hennef
- DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2008b):
Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf – Arzneistoffe. Veröffentlichung der DWA-Koordinierungsgruppe „Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf“, KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, (55), Nr. 9, Seite 954 bis 958
- Fahlenkamp, H.; Launer, M.; Nöthe, T.; Nowotny, N. (2007):
Aktivkohleadsorption und Ozonung als attraktive Möglichkeiten zur Elimination organischer Spurenstoffe. Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 210, Seite 3/1 bis 3/15, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen ISBN 978-3-938996-16-4
- Heinzmann, B.; Schuster, P.; Schwarz, R.-J. (2006):
Getrennte Erfassung von jodorganischen Röntgenkontrastmitteln mit mobilen Urinbehältern in zwei Krankenhäusern – Ergebnis der Testphase. gwf Wasser Abwasser 147 (2006), Nr. 11, Seite 710 bis 716
- ISOE Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH (2008):
Strategien zum Umgang mit Arzneimittelwirkstoffen im Trinkwasser (START). Humanarzneistoffe: Handlungsmöglichkeiten zur Verringerung von Gewässerbelastungen – Eine Handreichung für die Praxis. Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH, Frankfurt am Main
- IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung; Universität Duisburg-Essen (2006):
Eintrag von Arzneimitteln und deren Verhalten und Verbleib in der Umwelt – Literaturstudie, Abschlussbericht. Landesumweltamt NRW, LUA
- Joss, A.; Siegrist, H.; Ternes, T. A. (2008):
Are we about to upgrade wastewater treatment for removing organic micropollutants? IWA Publishing 2008 Water Science & Technology-WST, 57.2, Seite 251 bis 255
- Kroll, T. (2008):
Elimination von PFT bei der Trinkwasseraufbereitung durch den Einsatz von Aktivkohle. Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 211, Seite 20/1 bis 20/12, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen ISBN 978-3-938996-17-1, ISSN 0342-6068
- Kühn, W. (2007):
Arzneimittelrückstände – Müssen die Einträge in die Oberflächengewässer reduziert werden? Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Ruhr-Universität Bochum, Band 54, Seite 27 bis 41, ISSN 0178-0980
- Merkel, W; Zullei-Seibert, N; Hein, D. (2007):
Fachübergreifende Minimierungsstrategie für Arzneistoffe im Wasserkreislauf. gwf Wasser Abwasser 148 (2007), Nr. 1, Seite 71 bis 74

- Metzger, S.; Kapp, H.; Seitz, W.; Weber, H.; Hiller, G.; Süßmuth, W. (2005):
Entfernung von iodierten Röntgenkontrastmitteln bei der kommunalen Abwasserbehandlung durch den Einsatz von Pulveraktivkohle. gwf Wasser Abwasser 146 (2005), Nr. 9, Seite 638 bis 645
- Metzger, S.; Kapp, W.; H.; Hiller, G.; Süßmuth, W. (2006):
Pulver gegen Arzneimittel im Wasserkreislauf. UmweltMagazin 2006, Seite 34 bis 36
- Nisipeanu, P.; Bishop, M. (2008):
Machbarkeitsstudie PFT-Elimination in chemisch-physikalischen Abfallbehandlungsanlagen aufgezeigt an Abwässern aus der Chromsäurebehandlung. Abschlussbericht an das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Ruhrverband Essen
- Ort, C. (2007):
Mikroverunreinigungen – Nationales Stoffflussmodell. GWA Aktuell 11/2007, Seite 853 bis 859
- Pinnekamp, J.; Merkel, W. et al. (2008)
Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunalen Kläranlagen – Güte- und Kostenbetrachtungen. Abschlussbericht zu den Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. 07/111.1 (IV-7-0421D7) und 07/111.2 (IV-7-0421D6)
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2007):
Arzneimittel in der Umwelt. Stellungnahme Nr. 12. Berlin, April 2007. ISSN 1612-2968
- Schärer, M. (2007):
Mikroverunreinigungen – Erarbeitung einer Strategie. GWA Aktuell 11/2007, Seite 835 bis 841
- Schöpel, M. (2006):
Verfahren der Trinkwasseraufbereitung und deren Wirksamkeit hinsichtlich der Entfernung von Arzneistoffen am Beispiel der Ruhrwasserwerke (AWWR). IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH – Institut an der Universität Duisburg-Essen, Band 45, Seite 113 bis 125, ISSN 0941-0961
- Schöpel, M. (2007):
Arznei- und Röntgenkontrastmittel – Vorkommen in der Ruhr und ihr Verhalten während der Trinkwasseraufbereitung. Gewässer Wasser Abwasser, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Band 6, Seite 16/1 bis 16/11, ISBN 978-3-938996-15-7
- Schumacher, J. (2006):
Ozonung zur weitergehenden Aufbereitung kommunaler Kläranlagenabläufe. gwf Wasser Abwasser 147 (2006) Nr. 7-8, Seite 488 ff
- Siegrist, H. (2007):
Mikroverunreinigungen – Technische Verfahren zur Elimination. GWA Aktuell 11/2007, Seite 861 bis 867
- UBA Umweltbundesamt (2008):
Öffentliche Trinkwasserversorgung – Bewertung organischer Mikroverunreinigungen. Stellungnahme des Umweltbundesamtes für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW vom 14.3.08 (II 3.6 26000-1/1)
- Wilhelm, M.; Hölzer, J.; Kraft, M.; Rauchfuss, K.; Kleeschulte, P.; Midasch, O.; Angerer, J. (2007):
Der PFT Fall im Sauerland – umweltmedizinische Bewertung. Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Ruhr-Universität Bochum, Band 54, Seite 53 bis 61, ISSN 0178-0980
- Zullei-Seibert, N.; Schlett, C. (2007):
PFT „Gefahrstoffe“ der Jahre 2006/07. Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 207, Seite 19/1 bis 19/14, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen ISBN 978-3-938996-13-3

Anschrift der Verfasser

Prof. Dr.-Ing. Harro Bode
Dr.-Ing. Thomas Grünebaum
Prof. Dr. rer.nat. Ralf Klopp
Ruhrverband
Kronprinzenstraße 37
45128 Essen
hbo@ruhrverband.de
tgr@ruhrverband.de
rkl@ruhrverband.de